

PENGARUH *QUENCHING* DAN *TEMPERING* PADA BAJA JIS GRADE S45C TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO *CRANKSHAFT*

Yopi Handoyo¹⁾

¹⁾Dosen Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam 45 Bekasi

ABSTRAK

Investigations have been conducted on JIS S45C steel the results of Quenching and Tempering. Process of Quenching is conducted in 880°C with holding time 50 minutes, with cooling medias quench of oil and water, continue proses of Tempering is conducted in 560°C with holding time 40 minutes. Testing conducted : The chemical composition testing, macro struktur testing, hardness testing, and metallograph testing. The chemical composition testing shows that steel S45C in the medium carbon steel with the content carbon 0,45%. The specimen non heat treatment, average result of hardness section upper is 19,2 and section lower is 18,8HRC and micro struktur is pearlite and ferrite. The specimen heat treatment in 880°C with quenching media of oil, average result of hardness section upper is 35,3 dan section lower is 31,6HRC and micro struktur is bainite and martensite. The specimen with heat treatment in 880°C with quenching media of water, average result of hardness section upper is 43,5 dan section lower is 37,5HRC and micro struktur is bainite and martensite dominant. The specimen with heat treatment in 880°C quenching media of oil and continue Tempering in 560°C cooling media of water average result of hardness section upper is 26,8 dan section lower is 23,3HRC and micro struktur is bainite and martensite. The specimen with heat treatment in 880°C quenching media of water and continue Tempering in 560°C cooling media of water, average result of hardness section upper is 27,8 dan section lower is 26,6HRC, and micro struktur is bainite and martensite smooth.

Key words: *quenching, tempering, JIS S45C steel.*

I. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang Masalah

Crankshaft merupakan komponen otomotif hasil proses *forging* dengan metode *closed-die forging* yang mempertimbangkan ketepatan bentuk, kecepatan produksi dan kemampu bentuk kembali serta memberikan perlakuan panas (*Heat Treatment*) agar memperoleh sifat-sifat material yang diinginkan. *Heat Treatment* mempunyai tujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal, menghaluskan butir kristal, meningkatkan kekerasan, meningkatkan tegangan tarik logam dan sebagainya. Salah satu proses perlakuan panas pada baja adalah pengerasan (*hardening*), yaitu proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau diatas daerah kritis, disusul dengan pendinginan yang cepat atau *quench*, (Djafrie, 1995).

Proses *heat treatment* yang sering dikerjakan PT Credit Up Industry Indonesia adalah *machinery steel* S45C yang diaplikasikan sebagai bahan pembuat komponen mesin seperti *crankshaft*. Material S45C sangat sering digunakan karena harganya yang sangat murah. Sifat material S45C yang dibutuhkan adalah keras, tahan aus, tahan beban puntir, dan cukup ulet. Masalah yang terjadi di PT Credit Up Industry Indonesia adalah adanya variasi nilai kekerasan material yang tidak sesuai dengan standar kekerasan (HRC) yang telah ditentukan oleh kosumen. Berdasarkan permasalahan diatas maka perlu dilakukan penentuan metode perbaikan yang tepat, agar kekerasan material S45C dapat sesuai dengan standar kekerasan dan sesuai dengan harapan dan kebutuhan konsumen. Toleransi kekerasan standar material yang dizinkan adalah 24 ± 4 HRC.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas diketahui bahwa permasalahan yang dialami adalah mencari nilai kekerasan sesuai dengan data standar kelayakan kekerasan dan struktur mikro yang diperoleh setelah *heat treatment* pada baja S45C dengan variasi media pendingin *quenching*, selanjutnya membandingkan data yang diperoleh. Perumusan masalah yang akan diteliti sebagai berikut :

1. Bagaimana proses *forging* pada produk *crankshaft* ?
2. Bagaimana proses *heat treatment* pada baja S45C?
3. Bagaimana metode pengujian material meliputi uji kekerasan (*Hardness*) dan uji struktur mikro yang dilakukan?

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Jenis material yang digunakan adalah Baja karbon medium JIS S45C dan *part crankshaft* yang digunakan adalah tipe 5D9.
2. Pemanasan awal dilakukan pada suhu 880°C dengan waktu tahan 50 menit kemudian di *quenching* dengan media pendingin oli dan air (*Improvement*), setelah itu dilanjutkan proses *tempering* pada suhu 560°C dengan waktu tahan 40 menit dan didinginkan secara cepat dengan air.

3. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Rockwell dengan standar kekerasan 30-60 HRC (Hasil *Quench*) dan 24 ± 4 HRC (Hasil *Temper*).
4. Oli *quench* dengan *viscosity indeks* : 100-200 (ASTM D-2270) pada temperatur 78°C dan air *quench* pada temperatur 50°C.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui metode *forging crankshaft* dan *heat treatment* yang dilakukan.
2. Melakukan percobaan pada baja S45C pada 5 spesimen, yaitu empat spesimen dengan *heat treatment* dan satu spesimen *non heat treatment*.
3. Mengetahui nilai kekerasan (*Hardness*) dan struktur mikro kemudian mengidentifikasi dan membandingkan hasil percobaan untuk dianalisis.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Menambah pengetahuan tentang pengaruh proses *heat treatment* pada *forging crankshaft*.
2. Mengetahui nilai kekerasan yang dihasilkan proses *quenching* dan proses *tempering*, mengingat kedua proses tersebut merupakan proses kunci yang menentukan hasil penelitian.
3. Menambah pengetahuan metode pengujian material yang dilakukan dan nantinya akan berguna bagi penulis disaat terjun dalam masyarakat.

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Heat Treatment

Perlakuan panas (*Heat Treatment*) mempunyai tujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal (*internal stress*), menghaluskan ukuran butir kristal dan meningkatkan kekerasan atau tegangan tarik logam. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perlakuan panas, yaitu suhu pemanasan, waktu yang diperlukan pada suhu pemanasan, laju pendinginan dan lingkungan atmosfer. Perlakuan panas adalah kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan.

Beberapa tujuan *heat treatment* menurut Rajan (1994) antara lain:

- a. Meningkatkan keuletan, b. Menghilangkan internal stress, c. Penyempurnaan ukuran butir
- d. Meningkatkan kekerasan atau kekuatan tarik dan mencapai perubahan komposisi kimia dari permukaan logam seperti dalam kasus-kasus pengerasan

Keuntungan dari *heat treatment* menurut Rajan (1994) antara lain :

- a. Meningkatkan *machineability*, b. Mengubah sifat magnetik, modifikasi konduktivitas listrik
- c. Meningkatkan ketangguhan dan mengembangkan struktur rekristalisasi pada *cold-worked metal*

Faktor atau variabel yang dapat mempengaruhi proses *heat treatment* menurut

Rajan (1994) antara lain:

- a. Temperatur *heat treatment*, b. *Holding time*, c. Laju pemanasan, d. Proses pendinginan (*quenching*).

2.1.1 Jenis Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Beberapa contoh proses perlakuan panas yaitu :

1. Hardening

Hardening adalah proses pemanasan logam sampai temperatur di atas titik kritis (daerah austenit), ditahan sejenak sesuai dengan waktu tahan yang dibutuhkan agar seluruh benda kerja memiliki struktur austenit dan kemudian didinginkan secara mendadak. Tujuan proses ini adalah untuk mendapatkan struktur kristal martensit. Martensit adalah struktur yang harus dimiliki baja agar memperoleh kenaikan kekerasan yang sangat besar. Martensit berstruktur jarum karena jaringan atomnya berbentuk tetragonal.

2. Quenching

Quenching adalah suatu proses pengerasan baja dengan cara baja dipanaskan hingga mencapai batas austenit dan kemudian diikuti dengan proses pendinginan cepat melalui media pendingin air, oli, atau air garam, sehingga fasa austenit bertransformasi secara parsial membentuk struktur martensit. Tujuan utama dari proses *quenching* ini adalah untuk menghasilkan baja dengan sifat kekerasan tinggi.

3. Tempering

Menurut Suroto dan Sudibyo (1983), menyebutkan *tempering* adalah proses pemanasan kembali suatu logam yang telah dikeraskan melalui proses *quenching* pada suhu di bawah suhu kritisnya selama waktu tertentu dan didinginkan secara perlahan-lahan. Tujuan proses ini adalah untuk mengurangi *internal stress*, mengubah susunan, mengurangi kekerasan dan menaikkan keuletan logam sehingga didapatkan perpaduan yang tepat antara kekerasan dan keuletan logam uji.

4. Full annealing

Merupakan proses memanaskan baja sampai temperatur tertentu kemudian sehingga didinginkan secara lambat melewati temperatur transformasinya didalam *furnace*. Tujuan proses ini untuk menghaluskan butir, melunakan, memperbaiki sifat magnet dan sifat listrik.

5. Spheroidizing

Merupakan proses pemanasan baja sedikit dibawah temperatur kritis bawahnya sehingga menghasilkan karbida berbentuk bola-bola kecil (*sphere*) dalam *matric ferit*. Tujuan proses ini adalah untuk memperbaiki sifat mampu mesin (*machinability*) dari baja.

6. Stress-relief annealing

Merupakan proses pemanasan baja dibawah temperatur kritisnya sekitar 1000°F-1200°F. Tujuan dari proses ini adalah untuk menghilangkan tegangan sisa akibat pengerjaan dingin.

7. Normalizing

Merupakan proses pemanasan 100°F diatas temperatur kritis atas sekitar temperatur 1000°F-1250°F. Tujuan proses ini adalah untuk menghasilkan baja yang lebih kuat dan keras dibandingkan dengan baja hasil proses *full annealing*, jadi aplikasi penerapan dari proses *normalizing* digunakan sebagai *final treatment*.

2.1.2 Media Pendingin Quench

Proses *quenching* dilakukan pendinginan secara cepat dengan menggunakan media udara, air sumur, oli dan larutan garam. Kemampuan suatu jenis media dalam mendinginkan spesimen bisa berbeda-beda, perbedaan kemampuan media pendingin di sebabkan oleh temperature, kekentalan, kadar larutan dan bahan dasar media pendingin. Semakin cepat logam didinginkan maka akan semakin keras sifat logam itu.

Karbon yang dihasilkan dari pendinginan cepat lebih banyak dari pendinginan lambat. Hal ini disebabkan karena atom karbon tidak sempat berdifusi keluar, terjebak dalam struktur kristal dan membentuk struktur tetragonal yang ruang kosong antar atomnya kecil, sehingga kekerasannya meningkat. Media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan baja bermacam-macam. Berbagai bahan pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antara lain :

1) Air

Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat. Biasanya ke dalam air tersebut dilarutkan garam dapur sebagai usaha mempercepat turunnya temperatur benda kerja dan mengakibatkan bahan menjadi keras. Air memiliki karakteristik yang khas yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia yang lain. Karakteristik tersebut adalah sebagai berikut (Dugan, 1972; Hutchinson, 1975; Miller, 1992). Pada kisaran suhu yang sesuai bagi kehidupan, yakni 0°C (32° F) – 100° C, air berwujud cair. Suhu 0° C merupakan titik beku (*freezing point*) dan suhu 100°C merupakan titik didih (*boiling point*) air. Perubahan suhu air berlangsung lambat sehingga air memiliki sifat sebagai penyimpan panas yang sangat baik. Sifat ini memungkinkan air tidak menjadi panas atau dingin dalam seketika. Air memerlukan panas yang tinggi dalam proses penguapan. Penguapan (*evaporasi*) adalah proses perubahan air menjadi uap air. Proses ini memerlukan energi panas dalam jumlah yang besar. Oleh karena itu dalam penelitian ini digunakan air dalam proses pendinginan setelah proses *Heat Treatment* karena dapat mendinginkan logam yang telah dipanaskan secara cepat.

2) Minyak atau Oli

Minyak yang digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas benda kerja yang diolah terlebih dahulu. Selain minyak yang khusus digunakan sebagai bahan pendingin pada proses perlakuan panas, dapat juga digunakan oli, minyak bakar atau solar. Derajat kekentalan (*viscosity*) berpengaruh pada *Severity Of Quench*. Minyak mineral banyak dipilih karena kapasitas pendinginannya cukup baik. Pada umumnya minyak memiliki kapasitas pendinginan tertinggi sekitar temperatur 600°C, dan agak rendah pada temperatur pembentukan martensit. Laju pendinginan minyak bisa dinaikkan dengan tiga cara yaitu dengan agitasi, memanaskan minyak pada temperatur diatas temperatur kamar dan mengemulsikan air (*water soluble*). Jenis minyak mineral yang sering dipakai untuk aplikasi quenching pada industri yaitu oli khusus, oil *quench*.

3) Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendingin dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk Kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsur-unsur lain dari udara. Adapun pendinginan pada udara terbuka akan memberikan oksidasi oksigen terhadap proses pendinginan.

2.1.2 Penahanan Suhu Stabil (*Holding time*)

Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses hardening dengan menahan temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogeny pada struktur austenitnya atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenite dan difusi karbon dan unsur paduannya. Pedoman untuk menentukan holding time dari berbagai jenis baja :

1. Baja konstruksi dari baja karbon dan baja paduan rendah, mengandung karbida yang mudah larut, diperlukan *holding time* singkat, 5-15 menit.
2. Baja konstruksi dari baja paduan menengah dianjurkan menggunakan *holding time* 15 – 25 menit, tidak tergantung ukuran benda kerja.
3. *Low alloy tool steel*, memerlukan *holding time* yang tepat, agar kekerasan yang diinginkan dapat tercapai. Dianjurkan menggunakan 0,5 menit per millimeter tebal benda, atau 10 sampai 30 menit.
4. *High alloy chrome steel*, membutuhkan *holding time* yang paling panjang di antara semua baja perkakas, juga tergantung pada temperatur pemanasannya.
5. *Hot work tool steel*, mengandung karbida yang sulit larut, baru akan larut pada 1000°C. Pada temperatur ini kemungkinan terjadinya pertumbuhan butir sangat besar, karena itu *holding time* harus dibatasi, 15 – 30 menit.
6. *High speed steel*, memerlukan temperatur pemanasan yang sangat tinggi, 1200-1300°C. Untuk mencegah terjadinya pertumbuhan butir *holding time* diambil hanya beberapa menit saja. (Yudiono H., 2006)

2.1.4 Cacat, Penyebab, dan Solusi Dalam Hardening (*Heat Treatment*)

Tabel 2.3 Cacat, Penyebab, Solusi *Hardening* menurut Suroto dan Sudibyo (1983)

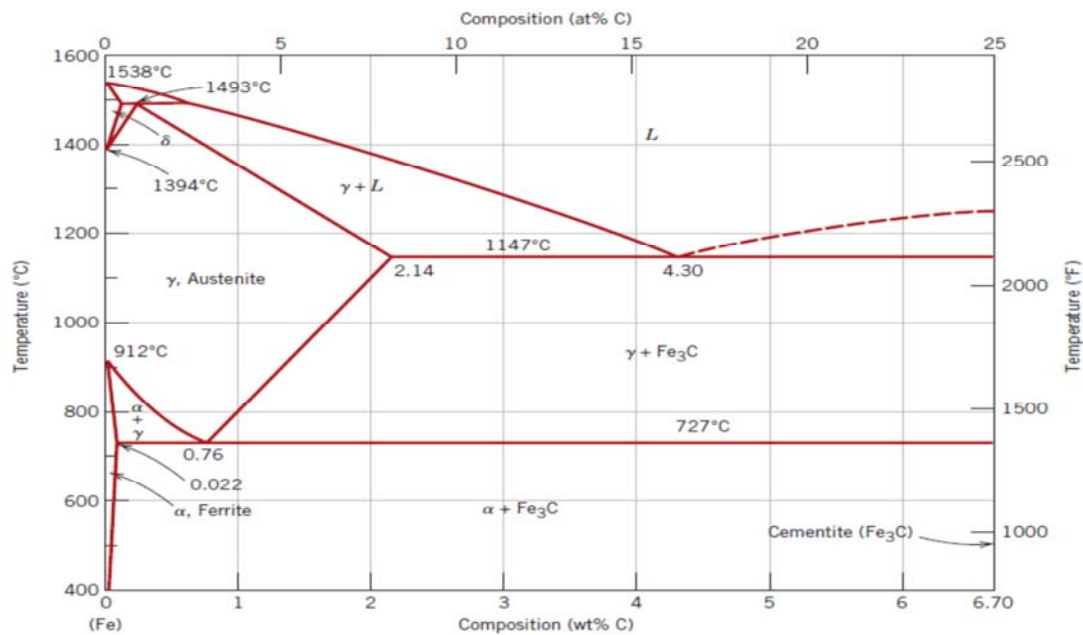
No	Kegagalan	Penyebab	Cara untuk menghindari
1	Oksidasi adalah mengelupasnya permukaan baja akibat reaksi Fe dengan oksigen dari udara.	Adanya oksigen di dalam dapur/oven.	a. Membebaskan oksigen dari dalam dapur, misalnya dengan memasukkan kayu ke dalamnya. b. Memanaskan di dalam larutan garam.
2	Perubahan ukuran dan bentuk sesudah hardening.	Terjadinya perubahan volume pada waktu pembentukan martensit.	a. Saat quenching masukkan benda kerja dengan benar. b. Mendinginkan dengan lebih perlahan ke dalam daerah martensit.
3	Dekarburisasi adalah menghilangnya karbon pada permukaan baja sehingga kekerasannya menurun.	Adanya oksigen di dalam dapur/oven.	a. Membebaskan oksigen dari dalam dapur, misalnya dengan memasukkan kayu ke dalamnya. b. Memanaskan di dalam larutan garam.
4	Quenching cracks adalah retak pada benda kerja sesudah di quenching.	a. Perbedaan kecepatan pendinginan antara permukaan dan inti dari benda kerja. b. Terjadinya perubahan volume pada waktu pembentukan martensit.	a. Menggunakan quenching medium yang sesuai. b. Menggunakan metode hardening yang sesuai (martempering atau austempering)
5	Kekerasan berkurang sesudah quenching	a. Temperatur pengerasan terlalu rendah. b. Kurang waktu pada temperatur hardening. c. Kecepatan pendinginan terlalu rendah.	Melakukan annealing yang diikuti dengan hardening.

2.2 Struktur Mikro Baja

Jika permukaan dari suatu spesimen baja disiapkan dengan cermat dan struktur mikronya diamati dengan menggunakan mikroskop, maka akan tampak bahwa baja tersebut memiliki struktur yang berbeda-beda. Jenis struktur yang ada sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia dari baja dan jenis perlakuan panas yang diterapkan pada baja tersebut. Struktur yang akan ada pada suatu baja adalah ferit, Perlit, bainit, martensit, sementit dan karbida lainnya.

2.2.1 Diagram Fasa Fe-C

Diagram kesetimbangan besi karbon seperti pada gambar 2.5 adalah diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon. Diagram ini merupakan dasar pemahaman untuk semua operasi-operasi perlakuan panas. Dimana fungsi diagram fasa adalah memudahkan memilih temperatur pemanasan yang sesuai untuk setiap proses perlakuan panas baik proses *anil*, *normalizing* maupun proses pengerasan atau *hardening*. Berdasarkan gambar 2.5 diagram fasa Fe-C dapat terlihat bahwa pada temperatur 727°C terjadi transformasi fasa austenite menjadi fasa perlit. Transformasi fasa ini dikenal sebagai reaksi eutektoid, dimana fase ini merupakan fase dasar dari proses perlakuan panas pada baja. Kemudian pada temperatur 912°C hingga 1394 °C merupakan daerah besi gamma (γ -Fe) atau austenite, pada kondisi ini biasanya austenite memiliki struktur Kristal FCC (*Face Centered Cubic*) bersifat stabil, lunak, ulet, mudah dibentuk.



Gambar 2.5 Diagram Fasa Baja Karbon

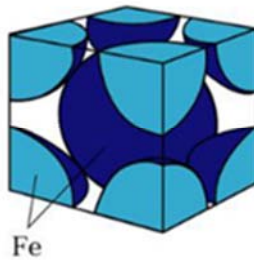
Besi gamma ini dapat melarutkan unsur karbon maksimum hingga mencapai 2,14% C pada temperatur 1147 °C. Untuk temperatur dibawah 727 °C besi murni berada pada fase ferit (α -Fe) dengan struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*), besi murni BCC mampu melarutkan karbon maksimum sekitar 0,02% C pada temperatur 727 °C. Sedangkan besi delta (δ -Fe) terbentuk dari besi gamma yang mengalami perubahan struktur dari FCC ke struktur BCC akibat peningkatan temperatur dari temperatur 1394 °C sampai 1538 °C, pada fase ini besi delta hanya mampu menyerap karbon sebesar 0,05%C.

2.2.2 Perubahan Fasa Fe-C

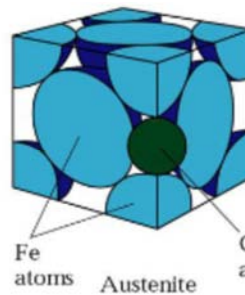
Dalam diagram fasa Fe-C terjadi beberapa perubahan fasa yaitu perubahan fasa ferit (α -Fe), austenite (γ -Fe), sementit, perlit, bainit dan martensit.

1. Ferrite atau Besi Alpha (α -Fe)

Ferit merupakan suatu larutan padat karbon dalam struktur besi murni yang memiliki struktur BCC (*Body Centered Cubic*) dengan sifat lunak dan ulet. Fasa ferit mulai terbentuk pada temperatur antara 300 °C hingga mencapai temperatur 727 °C. Kelarutan karbon pada fasa ini relatif kecil dibandingkan dengan kelarutan pada fasa larutan padat lainnya. Saat fasa ferit terbentuk, kelarutan karbon dalam besi alpha hanyalah sekitar 0,02% C.



Gbr 2.6 Struktur mikro baja atau besi pada fasa ferrite,



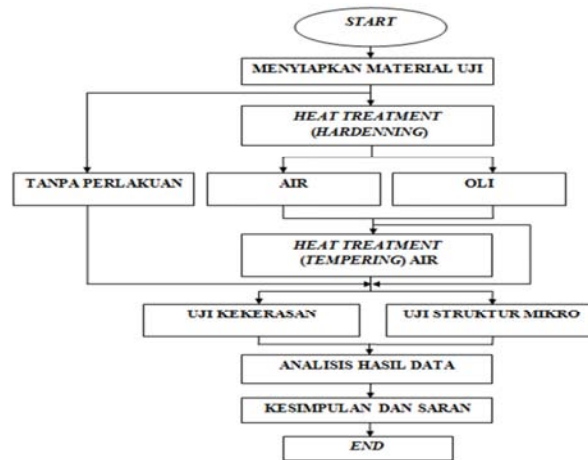
Gbr 2.7 Struktur mikro baja atau besi pada fasa austenite

2. Austenite atau Besi Gamma (γ -Fe)

Fase austenite merupakan larutan padat intertisi antara karbon dan besi yang memiliki struktur FCC (*Face Centered Cubic*). Fasa austenite terbentuk antara temperatur 912 °C s.d. temperatur 1394 °C. Kelarutan karbon pada saat berada pada fasa austenite lebih besar hingga mencapai kelarutan karbon sekitar 2,14% C.

III. Metodologi Penelitian

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

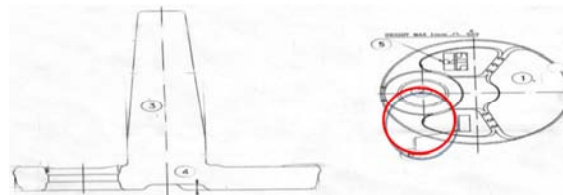
3.2 Tempat Penelitian

Pengambilan data uji pada penelitian ini dilakukan di PT. Credit Up Industry Indonesia, Jl. Jababeka SFB Blok J No. 11A, Cikarang Industrial Estate Cikarang -Bekasi.

3.3 Alat-alat Penelitian

Alat-alat dan bahan sebagai pendukung dalam penelitian ini antara lain :

1. Tang Penjepit spesimen
2. Mesin pemotong spesimen (*grinding cutting wheel*)
3. Mesin poles (*polisher*)
4. *Metallurgical Microscope*
5. Alat uji kekerasan Rockwell
6. Mesin *Shortblasting*
7. Tungku *Heat Treatment*
8. *Crankshaft tipe 5D9-R*



Gambar 3.2 Bagian-bagian pada *crankshaft* tipe 5D9

Keterangan : 1.Flange 2.Flange Hole 3.Shaft 4.Crank Jurnal 5. Part 5D9-Crank L/R 6.Marking Dies

3.4 Spesimen Penelitian

Terlebih dahulu dilakukan pemberian identitas pada tiap-tiap spesimen agar tidak tertukar. Spesimen yang digunakan adalah *Crankshaft* tipe 5D9-L, jumlah spesimen dalam penelitian ini adalah lima spesimen dengan jenis material yang sama (S45C), dan dengan perlakuan yang berbeda, antara lain :

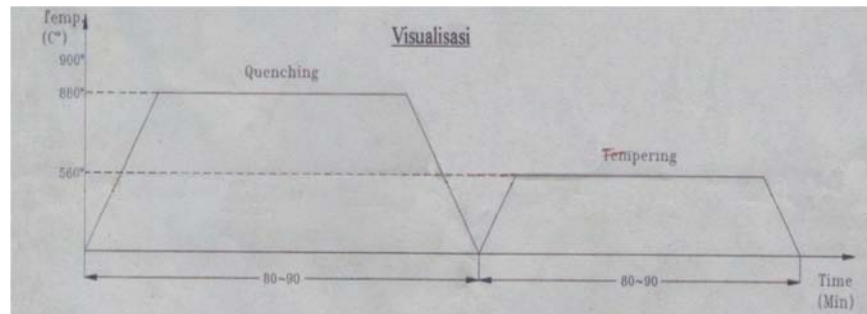
- A. Spesimen 1 (*Non heat treatment*),
- B. Spesimen 2 (*Quenching oli*),
- C. Spesimen 3 (*Quenching air*),
- D. Spesimen 4 (*Quenching oli* dengan dilanjutkan *Tempering air*) dan
- E. Spesimen 5 (*Quenching air* dengan dilanjutkan *Tempering air*).

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Proses *Heat Treatment*

Setelah dilakukan pemberian identitas pada tiap-tiap specimen, selanjutnya dilakukan proses *heat treatment* pada empat spesimen yaitu spesimen 2 sampai 5 yang di ambil dari kumpulan *crankshaft* secara acak, untuk spesimen 1 (*non heat treatment*) langsung di uji kekerasan dan struktur mikronya.

1. Proses pemanasan (*heating*) pada temperatur austenite 880°C (diatas Ac-1 pada diagram Fe-Fe₃C) dengan waktu tahan (*holding time*) 50 menit agar pada fasa *austenite* mendapatkan kekerasan maksimum dan homogen.
2. Selanjutnya didinginkan cepat (*quenching*) pada temperatur 78°C, spesimen 2 dan 4 dengan oli dan spesimen 3 dan 5 dengan air. Bertujuan untuk mendapatkan struktur *martensite* sehingga kekerasannya meningkat.
3. Untuk spesimen 2 dan 3 yang telah *quenching*, diambil dan di pisahkan untuk dilakukan pengujian kekerasan dan struktur mikro.
4. Setelah pemanasan pada temperatur austenite 880°C dan *quenching* dengan oli (spesimen 4) dan air (spesimen 5), lalu dilanjutkan proses *Tempering* pada temperatur 560°C dengan waktu tahan (*holding time*) 40 menit dan keduanya di dinginkan secara cepat dengan media pendingin air pada temperatur 50°C. Ini bertujuan untuk meningkatkan keuletan dan menghaluskan struktur mikro.
5. Setelah proses *heat treatment*, lalu beri keterangan atau identitas pada tiap-tiap spesimen agar tidak tertukar dan spesimen di bersihkan permukaannya dengan proses *Shortblasting*.



Gambar 3.4 Heat Treatment Continous

Tabel 3.2 Standard Heat Treatment Continous (Proses Quenching)

Material	Temperatur (°C) 840~900°	Speed control Conveyor (min) 80~90	Oil Temp Max 90 (°C)	Hardness (HrD)	Part Name	No Part
S45C	880	90		30~60	Crank Shaft	5XT,5TP,5D9, S6,3C1,1S7

Tabel 3.3 Standard Heat Treatment Continous (Proses Tempering)

Material	Temperatur (°C) 450~600	Speed control Conveyor (min) 80~90	Oil Temp Max 80 (°C)	Hardness (HrD)	Part Name	No Part
S45C	560	85	50	20~28	Crank Shaft	5XT,5TP,5D9, 2S6,3C1,1S7

3.5.2 Proses Shortblasting

Setelah dilakukan proses *heat treatment*, selanjutnya ambil 5 spesimen tersebut untuk dilakukan proses *Shortblasting* agar permukaan spesimen yang akan diuji harus rata, bersih dari debu atau kerak, kemudian satu persatu spesimen dilakukan shortblasting dan sebelum dilakukan pemotongan untuk uji kekerasan.

3.5.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di laboratorium metallurgi PT. Credit Up Industry Indonesia. Setelah spesimen dibersihkan dengan mesin *Shortblasting* dan diratakan permukanya, kemudian dipotong dan dihapelas dengan polisher agar permukaan menjadi seperti cermin. Setelah itu pengujian kekerasan dilakukan dengan alat uji Rockwell dengan skala C dengan pembebanan mayor sebesar 150 kgf dan indenter menggunakan kerucut intan.

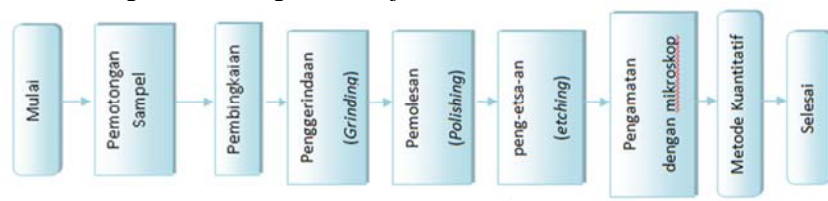
Berikut ini adalah prosedur percobaan yang dilakukan pada pengujian kekerasan dengan metode Rockwell :

1. Spesimen dibersihkan permukaannya dengan mesin *shortblasting* dan dipotong dengan mesin pemotong.
2. Spesimen diletakkan pada landasan uji dan indenter yang digunakan adalah kerucut intan.
3. Spesimen dinaikkan hingga menyentuh kerucut intan, kemudian katup hidrolik dikunci.
4. Tuas hidrolik ditekan berulang-ulang hingga skala pada panel menunjukkan angka 150 kgf kemudian ditahan selama 30 detik.
5. Setelah 30 detik katup hidrolik dibuka untuk mengembalikan beban ke posisi semula (0 kg).

6. Nilai kekerasan dapat dilihat pada jarum *dial indicator pointer*.
7. pengambilan data kekerasan diulang sebanyak 5 titik untuk masing-masing spesimen agar diketahui variasi nilai kekerasannya.

3.5.4 Pengujian Struktur Mikro

Tujuan dari pemeriksaan metalografi adalah untuk melihat dan menganalisa jenis dan bentuk struktur mikro setelah mengalami proses *heat treatment* agar dapat membandingkan struktur mikro masing-masing spesimen, spesimen metalografi sama dengan untuk uji kekerasan.



Gambar 3.7 Diagram Alir Pengamatan Metalografi

Pengujian metalografi agar dapat diamati mikrostrukturnya, maka terlebih dahulu benda uji di potong yang merupakan bagian dari spesimen kekerasan yaitu pada bagian ujungnya, Berikut ini adalah prosedur percobaan yang dilakukan pada pada pengujian Metallografi :

1. Spesimen yang telah dipotong dan dibingkai (*mounting*) kemudian digrinding dengan kertas ampelas grade 120 dan 240 selama 15 menit, kemudian dilanjutkan dengan grade 400, 600, 800, 1000, 1500.
2. Setelah digrinding dengan ampelas, spesimen dipolesh dengan magnesium oxide (MgO) agar tidak terdapat goresan pada permukaan spesimen..
3. Etsa nital 3% dituangkan dalam wadah kemudian spesimen dicelupkan kedalam etsa selama 5-30 detik. Proses pengerjaannya adalah dicelupkan selama ± 10 detik pada larutan nital tersebut kemudian dicuci dengan air bersih lalu dikeringkan.
4. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan alat mikroskop optik OLYMPUS BX41M yang disambungkan ke program pada komputer. Spesimen diletakkan diatas bidang uji atau meja mikroskop kemudian didekatkan dengan mikroskop optik.
5. Digunakan perbesaran 200x sampai 500x dan diambil photo dari masing-masing spesimen. Fokus pada mikroskop diputar untuk mendapatkan pengamatan yang baik pada spesimen.
6. Setelah didapatkan fokus dan pencahayaan yang yang pas, diambil photo dari spesimen dengan mengklik *icon Capture frame* pada program.

3.5.5 Pengujian Komposisi Kimia

Untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung pada raw material maka dilakukan uji komposisi dengan metoda optical emission spectrometer menggunakan pengekstasi berupa loncatan bunga api (*spark*). Untuk uji komposisi spesimen yang digunakan terdiri dari beberapa bendel, Ø20, Ø25, dan Ø50.

Spesimen untuk uji komposisi ini harus lebih besar dari persyaratan minimum adalah 18 mm x 18 mm. Hal ini dilakukan karena probe mesin uji komposisi berdiameter 18mm. Spesimen harus dapat menutupi seluruh permukaan probe. Selanjutnya spesimen permukaannya diratakan menggunakan kertas ampelas halus. permukaannya rata, lalu diletakan pada probe mesin uji untuk dilakukan pengujian. Hasil pengujian dapat langsung terlihat pada komputer mesin uji.

Tabel 3.2 Standar Komposisi kimia

Material	Campuran									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Pb	Mo
S 43 C	0,40-0,46	0,15-0,35	0,60-0,90	Max 0,030	Max 0,035	0,09-0, 20	Max 0,3	Max 0, 2	-	-
S 45 C	0,42-0,48	0,15-0,35	0,60-0,90	Max 0,030	Max 0,035	0,09-0, 20	Max 0,3	Max 0, 2	-	-
S 48 C	0,45-0,51	0,15-0,35	0,60-0,90	Max 0,030	Max 0,035	0,09-0, 20	Max 0,3	Max 0, 2	-	-
S 50 C	0,47-0,53	0,15-0,35	0,60-0,90	Max 0,030	Max 0,035	0,09- 0, 20	Max 0,3	Max 0, 2	-	-
S 55 C	0,52- 0,58	0,15- 0,35	0,60-0,90	Max 0,030	Max 0,035	0,09-0, 20	Max 0,3	Max 0, 2	-	-
S 48 CZ	0,45- 0,51	0,15- 0,35	0,60 0,90	Max 0,030	Max 0,035	0,09- 0, 20	Max 0,3	Max 0, 2	0,04-0,10	-

Sumber : PT. Credit Up Industry Indonesia

IV. Hasil Penelitian Dan Pembahasan

4.1. Hasil Uji Komposisi Kimia

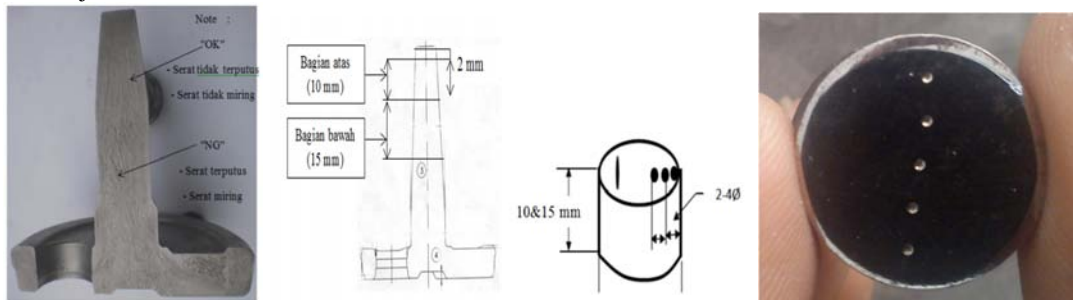
Tabel 4.1 Komposisi kimia bahan Baja S45C

No	Nama Unsur	Simbol	Komposisi (%)
1	<i>Iron/Ferro</i>	Fe	98,290
2	<i>Carbon</i>	C	0,456
3	<i>Silicon</i>	Si	0,254
4	<i>Manganese</i>	Mn	0,842
5	<i>Chromium</i>	Cr	0.124
6	<i>Nikel</i>	Ni	0.013
7	<i>Molybdenum</i>	Mo	0.000
8	<i>Copper</i>	Cu	0.018
9	<i>Alumunium</i>	Al	0.003
10	<i>Vanadium</i>	V	0.000
11	<i>Tungsten</i>	W	0.000
12	<i>Titanium</i>	Ti	0.006
13	<i>Niobium</i>	Nb	0.009
14	<i>Phosfor</i>	P	0,020
15	<i>Sulfur</i>	S	0,011

Pengujian komposisi dilakukan pada *raw material* baja karbon medium S45C dengan Ø50 lalu dipotong sesuai spesifikasi mesin dengan metode *optical emission spectrometer* menggunakan pengekstasi berupa loncatan bunga api (*spark*). Hasil pengujian dapat langsung terlihat pada komputer mesin uji. Hasil pengujian pada Tabel 4.1. Unsur besi (*Iron*) merupakan unsur utama dan unsur paduan yang sangat penting adalah *Carbon* (C), *Silicon*, *Manganese*, *Chromium*, *Nikel* dan adapun unsur lainnya relatif sangat kecil, seperti *Molybdenum*, *Copper*, *Alumunium*, *Vanadium*, *Tungsten*, *Titanium*, *Niobium*, *Phosfor* dan *Sulfur*.

4.2 Hasil Uji Struktur Makro (*Grain Flow*)

Hasil Uji Struktur Makro berikut ini:



Gbr 4.1 Struktur Mikro; 4.2.a Ilustrasi Pemotongan; 4.2.b. Penjejakan Spesimen; 4.3 Kekerasan Rockwell

Hasil uji struktur makro pada gambar 4.2 menunjukkan arah aliran kristal yang didapatkan pada proses deformasi plastis material mengikuti cetakan yang dihasilkan dari proses faging. Arah aliran Kristal yang didapat adalah serat nya tidak terputus dan tidak miring, *judgement* : OK, sedangkan serat yang terputus dan miring *judgement* : OK.

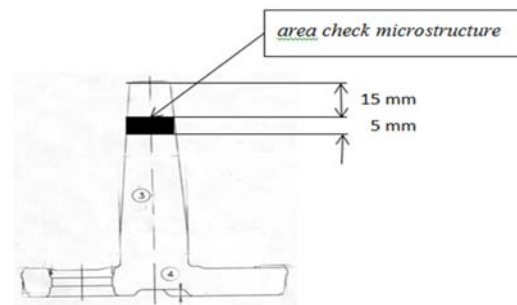
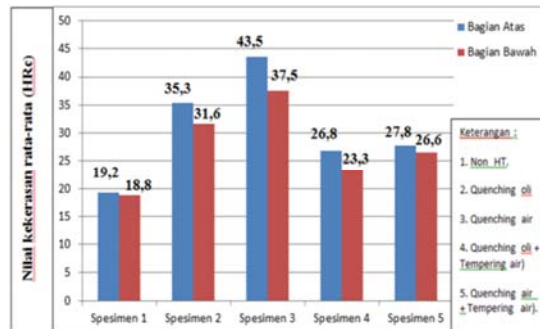
4.3 Hasil Dan Pembahasan Uji Kekerasan

4.3.1 Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan, spesimen dibagi menjadi dua bagian, lihat pada gambar 4.2.a, hal ini dikarenakan spesimen memiliki ketebalan penampang yang berbeda dan akan mendapatkan nilai kekerasan yang berbeda pula. Pengujian kekerasan ini dilakukan sebanyak 5 kali penekanan secara garis lurus dengan jarak masing-masing penjejakan adalah 2-4 diameter jejak penekanan (dari titik tengah diameter antar jejak penekanan), lihat pada gambar 4.2.b. Selanjutnya dicari nilai kekerasan rata-ratanya. Berikut ini adalah tabel kekerasan Spesimen setelah dilakukan uji kekerasan

Tabel 4.1. Kekerasan Spesimen 1-5

Spesimen	Bagian	Temp Hardening	Speed Conveyor	Temp Oli	Hardness Quenching (HRc 30-60)					
		Std 840-900°C	Std 80-90 Mnt	Max 90° C	1	2	3	4	5	Rata Rata
Spesimen 1 (Not Heat Treatment)	Atas				19,4	18,7	19,6	19,2	19,1	19,2
	Bawah				18,8	18,3	19,4	18,7	19,0	18,8
Spesimen 2 (Quenching Oli)	Atas	880	90	78	35	35,4	34,9	35	36,1	35,3
	Bawah	880	90	78	33	31,5	30,5	31,1	32	31,6
Spesimen 3 (Quenching air)	Atas	880	90	78	40,3	41	45,4	46,2	44,7	43,5
	Bawah	880	90	78	37	38,2	40,3	37,5	34,5	37,5
Spesimen 4 (Quenching Oli dilanjutkan Tempering air)	Atas	560	85	50	27,3	27	26,6	26,2	26,8	26,8
	Bawah	560	85	50	24,1	23	23	22,5	24	23,3
Spesimen 5 (Quenching air dilanjutkan Tempering air)	Atas	560	85	50	27,7	28,1	28,2	27,4	27,8	27,8
	Bawah	560	85	50	27	27,1	26,8	26,4	25,8	26,6



Gambar 4.4 Diagram Hasil Uji Kekerasan Rata-rata. Gambar. 4.5 Pemotongan Spesimen Uji Struktur Mikro

A. Spesimen Kekerasan Bagian Atas

Data dari hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan rata-rata antara spesimen 1 (*non heat treatment*) terhadap spesimen 2 (*quenching oli*) mengalami peningkatan, dengan perbedaan nilai kekerasan sebesar 16,1 HRC. Untuk spesimen 1 (*non heat treatment*) terhadap spesimen 3 (*quenching air*) juga mengalami peningkatan, dengan perbedaan nilai kekerasan sebesar 24,3 HRC. Untuk spesimen 2 (*quenching oli*) terhadap spesimen 4 (*quenching oli dengan dilanjutkan tempering air*) mengalami penurunan sebesar 8,5 HRC. Sedangkan untuk spesimen 3 (*quenching air*) terhadap 5 (*Quenching air dengan dilanjutkan Tempering air*) juga mengalami penurunan sebesar 15,7 HRC.

B. Spesimen Kekerasan Bagian Bawah

Data dari hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan rata-rata untuk spesimen 1 (*non heat treatment*) terhadap spesimen 2 (*quenching oli*) mengalami peningkatan, dengan perbedaan nilai kekerasan sebesar 12,8 HRC. Untuk spesimen 1 (*non heat treatment*) terhadap spesimen 3 (*quenching air*) juga mengalami peningkatan, dengan perbedaan nilai kekerasan sebesar 18,7 HRC. Untuk spesimen 2 (*quenching oli*) terhadap spesimen 4 (*quenching oli dengan dilanjutkan tempering air*) mengalami penurunan sebesar 8,3 HRC. Sedangkan untuk spesimen 3 (*quenching air*) terhadap 5 (*Quenching air dengan dilanjutkan Tempering air*) juga mengalami penurunan sebesar 10,9 HRC.

C. Spesimen 2 (*quenching oli*) VS spesimen 3 (*quenching air*)

Pada bagian atas, spesimen hasil *Quenching oli* memiliki kekerasan rata-rata sebesar 35,3 HRc dan untuk spesimen hasil *Quenching air* memiliki kekerasan rata-rata sebesar 43,5 HRC. Pada bagian bawah, spesimen hasil *Quenching oli* memiliki kekerasan rata-rata sebesar 31,6 HRC dan untuk spesimen hasil *Quenching air* memiliki kekerasan rata-rata sebesar 37,5 HRC. Hal ini menunjukkan bahwa jenis media pendingin *Quenching* berpengaruh terhadap kekerasan yang dihasilkan, yaitu pada bagian atas sebesar 8,2 HRC dan bagian bawah sebesar 5,9 HRC.

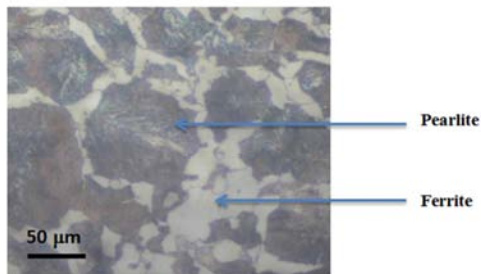
D. Spesimen 4 (*Quenching oli + Tempering air*) VS spesimen 5 (*Quenching air + Tempering air*)

Pada bagian atas, spesimen hasil *Quenching oli* memiliki kekerasan rata-rata sebesar 26,8 HRC dan untuk spesimen hasil *Quenching air* memiliki kekerasan rata-rata sebesar 27,8 HRC. Pada bagian bawah, spesimen hasil *Quenching oli* memiliki kekerasan rata-rata sebesar 23,3 HRC dan untuk spesimen hasil *Quenching air* memiliki kekerasan rata-rata sebesar 26,6 HRC. Hal ini menunjukkan bahwa jenis media pendingin *Quenching* berpengaruh terhadap kekerasan yang dihasilkan, yaitu pada bagian atas sebesar 1,0 HRC dan bagian bawah sebesar 3,3 HRC.

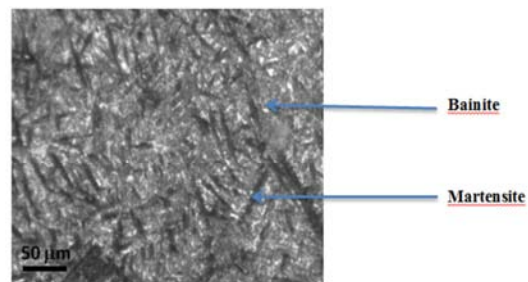
4.4 Hasil Dan Pembahasan Struktur Mikro

4.4.1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

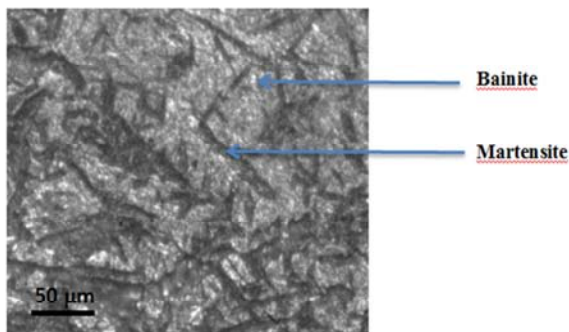
Pengujian dan Hasil Uji stuktur mikro yang dilakukan pada penelitian ini adalah sbb :



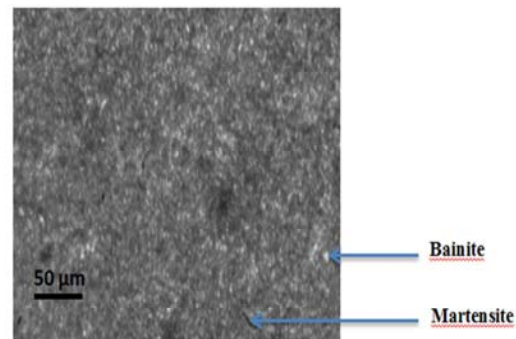
Gambar 4.7 Foto Struktur Mikro Spesimen 1



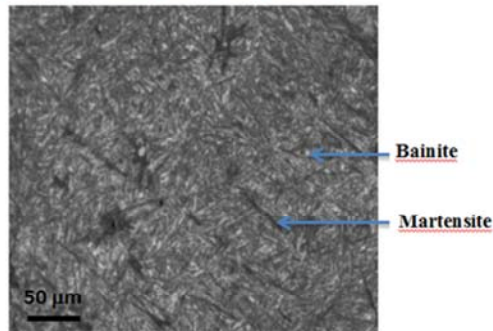
Gambar 4.8 Foto struktur mikro Spesimen 2



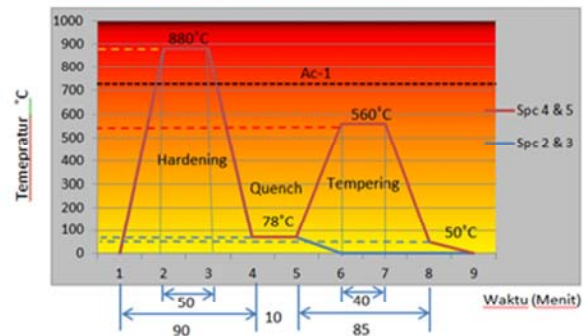
Gambar 4.9 Foto struktur mikro Spesimen 3



Gambar 4.10 Foto struktur mikro Spesimen 4



Gambar 4.11 Foto struktur mikro Spesimen 5



Gbr. 4.6 Quench dan Temper Continuous

Gambar 4.7. Non Heat Treatment. Fasa perlite dan ferrite, Etsanital 3%, Perbesaran : 500x

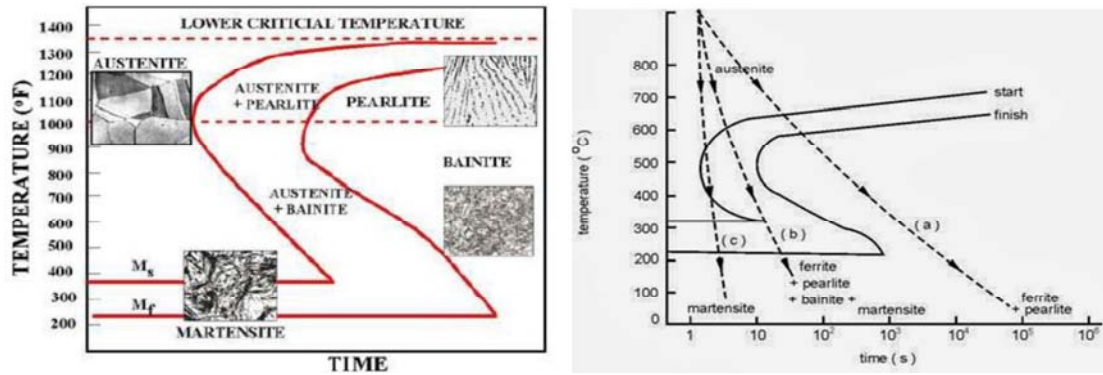
Gambar 4.8. Hardening pada temperatur 880°C. Holding time 50 menit. Quenching oli. Fasa martensite dan bainite, Etsa nital 3%, Perbesaran : 500x.

Gambar 4.9. Hardening pada temperatur 880°C. Holding time 50 menit. Quenching air. Fasa martensite dan bainite, Etsa nital 3%, Perbesaran : 500x.

Gambar 4.10 Foto stuktur mikro Spesimen 4

Hardening pada temperatur 880°C, Holding time 50 menit, Quenching oli. Dilanjutkan proses tempering pada temperatur 560°C, Holding time 40 menit, pendingin air. Fasa ferrit dan fasa sementite, Etsa nital 3%, Perbesaran : 500x.

Gambar 4.11. Hardening pada temperatur 880°C, Holding time 50 menit, Quenching air. Dilanjutkan proses tempering pada temperatur 560°C, Holding time 40 menit pendingin air. Fasa ferrite dan fasa sementite, Etsa nital 3%, Perbesaran : 500x.



Gambar 4.12 & 4.13 Diagram Time Temperature Transformation & Continuous Cooling Transformation

Pembahasan Pengamatan Struktur Mikro adalah sebagai berikut :

1. Spesimen 1 (*non heat treatment*)

Struktur mikro baja karbon medium dengan spesimen 1 seperti dilihat pada gambar 4.7 terlihat bahwa struktur yang terbentuk adalah, *perlite* (berwarna gelap atau hitam) dan *ferrite* (berwarna terang). Spesimen 1 (*raw material*), pada temperatur *austenite* mendapat laju pendinginan lambat dengan udara ke temperatur kamar maka struktur yang terbentuk adalah *perlite*. *Perlite* merupakan campuran dari *ferrite* dan *sementite*. Pada gambar 2.13, garis (a) menunjukkan laju pendinginan lambat sehingga transformasi *austenite* yang terbentuk adalah *perlite* dan *ferrite*.

2. Spesimen 2 (*quenching oli*)

Struktur mikro baja karbon medium dengan spesimen 2 seperti dilihat pada gambar 4.8 bahwa struktur yang terbentuk adalah *martensite* (bentuk jarum) dan sedikit *bainite* (putih). Perlakuan panas pada temperatur *austenite* 880°C dan waktu penahanan 50 menit kemudian dilakukan pendinginan cepat dengan *quench* oli, dari fasa *austenite* bertransformasi menjadi fasa *martensite*. Pada gambar 2.13, garis (c) menunjukkan laju pendinginan sangat cepat sehingga struktur yang terbentuk adalah *martensite*. *Martensite* dengan sedikit *bainite*, ini menunjukkan bahwa baja ini sangat keras, namun getas.

3. Spesimen 3 (*quenching air*)

Pada foto struktur mikro baja karbon medium dengan spesimen 3 seperti dilihat pada gambar 4.9 bahwa struktur yang terbentuk adalah *martensite* (bentuk jarum) lebih dominan di bandingkan dengan *bainite* (putih) sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi di bandingkan dengan spesimen *quench* oli. Perlakuan panas pada temperatur *austenite* 880°C dan waktu penahanan 50 menit, kemudian di *quench* dengan air, laju pendinginan cepat dengan *quench* air pada gambar 2.13, garis (c), *austenite* yang memiliki struktur FCC (*Face Centered Cubic*) berusaha mengeluarkan atom karbon, namun karena waktu yang sangat singkat atom karbon tersebut terperangkap dan membentuk struktur baru, yaitu *martensite* yang memiliki struktur BCT (*Body Centered Cubic*).

4. Spesimen 4 (*Quenching oli + Tempering air*)

Foto struktur mikro baja karbon medium pada spesimen 4 seperti dilihat pada gambar 4.10 terlihat bahwa struktur yang terbentuk adalah terdiri *martensite* dan *bainite* tampak lebih halus. Setelah perlakuan panas pada temperatur *austenite* 880°C dan waktu penahanan 50 menit, lalu di *quenching* oli dan dilanjutkan *tempering* pada temperatur 560°C dan waktu penahanan 40 menit. Transformasi di bawah temperatur *autenite* mengalami perubahan fasa menjadi *martensite* dan *bainite* akibat laju pendinginan pada gambar 2.13, garis (b) maka yang terbentuk berupa *martensite* dan *bainite* yang halus sehingga kekerasannya menurun jika dibandingkan sebelumnya (spesimen 2).

5. Spesimen 5 (*Quenching air + Tempering air*)

Foto struktur mikro baja karbon medium Pada spesimen 5 seperti dilihat pada gambar 4.11 terlihat bahwa struktur yang terbentuk sama seperti pada spesimen 4 adalah terdiri dari fasa *martensite* dan fasa *bainite* yang halus. Setelah perlakuan panas pada temperatur *austenite* 880°C dan waktu penahanan 50 menit, lalu di *quenching* air dan dilanjutkan *tempering* pada temperatur 560°C dan waktu penahanan 40 menit. Transformasi di bawah temperatur *autenite* akibat laju pendinginan pada gambar 2.13, garis (b) yang terbentuk berupa *martensite* yang agak dominan dibandingkan spesimen 4, sehingga spesimen 5 kekerasannya lebih tinggi.

4.5 Perbandingan Hasil Pengujian dan Penelitian Lainnya

4.5.1 Perbandingan Hasil Pengujian kekerasan

Sebagai perbandingan tentang kesesuaian data hasil, maka penulis melengkapinya dengan hasil pengujian kekerasan part *crankshaft* lainnya yang dilakukan di PT Credit Up Industry Indonesia. Pada penelitian ini *crankshaft* 5D9-1 adalah part yang dipakai oleh penulis dalam pengujian, dan part lainnya *Part Crankshaft* 50C

1. Part Crankshaft 50C

PART No. 50C-E1412-W0												
HARDNESS QUENCHING (HRC 30 ~ 60)												
ACTUAL HARDNESS												
ATAS						BAWAH						
45	44	42.5	40	49.5	32.3	31	32	31.5				
HARDNESS TEMPERING (HRC 20 ~ 28)												
ACTUAL HARDNESS												
CEK KE-	ATAS						BAWAH					
1	25.5	26.5	25	26.2	27	23	22.5	22.5	22.3	22.3		

Gambar 4.14 Hasil Uji Kekerasan Part 50C

2. Part Crankshaft 1DY

PART No. 1DY-E1412-W0												
HARDNESS QUENCHING (HRC 30 ~ 60)												
ACTUAL HARDNESS												
ATAS						BAWAH						
38	53	37	52	34	31	50	50	30.5	32.5			
HARDNESS TEMPERING (HRC 20 ~ 28)												
ACTUAL HARDNESS												
CEK KE-	ATAS						BAWAH					
1	26	26	25	26.5	25	22.5	21	24	22	24		

Gambar 4.15 Hasil Uji Kekerasan Part 1DY

3. Part Crankshaft 3C1

PART No. 3C1-E1412-W0												
HARDNESS QUENCHING (HRC 30 ~ 60)												
ACTUAL HARDNESS												
ATAS						BAWAH						
45	45	44	45	45	33	31	30	31	32			
HARDNESS TEMPERING (HRC 20 ~ 28)												
ACTUAL HARDNESS												
CEK KE-	ATAS						BAWAH					
1	23.5	27	26	27	26.8	22	22	23	24			

Gambar 4.16 Hasil Uji Kekerasan Part 3C1

4. Part Crankshaft 1S7

PART No. 1S7-E1412-W0												
HARDNESS QUENCHING (HRC 30 ~ 60)												
ACTUAL HARDNESS												
ATAS						BAWAH						
50	48	46	44	49	35	32	31	34	35			
HARDNESS TEMPERING (HRC 20 ~ 28)												
ACTUAL HARDNESS												
CEK KE-	ATAS						BAWAH					
1	25.5	27	26.5	26.5	23	21.5	21	22	22.5	21		

Gambar 4.17 Hasil Uji Kekerasan Part 1S7

6. Part Crankshaft 5D9

PART NAME : CRANK SHAFT PART No. 5D9-E1412-W0												
HARDNESS QUENCHING (HRC 30 ~ 60)												
ACTUAL HARDNESS												
ATAS						BAWAH						
43	40	42	38	40	31	30	30	34	31			
HARDNESS TEMPERING (HRC 20 ~ 28)												
ACTUAL HARDNESS												
CEK KE-	ATAS						BAWAH					
1	26	27	25.5	26	26.5	23	22	22.5	24	22.5	23	

Gambar 4.18 Hasil Uji Kekerasan Part 5D9

Dari hasil pengujian kekerasan pada *crankshaft* diatas didapatkan beberapa pernyataan, antara lain:

1. Nilai kekerasan pada bagian atas cenderung memiliki nilai yang lebih tinggi dari nilai kekerasan bagian bawah. Hal ini menunjukkan bahwa ada beberapa faktor kemungkinan yang mempengaruhi nilai kekerasan;
 - a. Proses *heat treatment* pada bagian atas mendapatkan panas yang lebih besar dikarenakan api pemanasan bersumber dari atas tungku.
 - b. Bentuk dimensi *crankshaft* yang kompleks (tirus) pada bagian atas lebih mengecil sehingga nilai kekerasan lebih tinggi pada bagian ini.
2. Adanya selisih nilai yang berbeda dengan metode yang sama (dalam satu keranjang) antara hasil pengujian kekerasan yang penulis lakukan dengan hasil yang dilakukan oleh operator lain pada material yang sama, seperti pada hasil *quenching* kekerasan part *crankshaft* 5D9, pada gambar 4.18.
3. Variasi nilai kekerasan pada *crankshaft* dalam satu proses *heat treatment* dengan metode (temperatur dan media *quenching* yang sama) merupakan masalah yang melatar belakangi penelitian ini. Tentunya masalah atau kegagalan pada proses *heat treatment* pada produk *forging crankshaft* tidak dapat dihindari, namun hal ini dapat dicegah, salah satunya pada saat pemanasan awal 880°C *crankshaft* harus tegak lurus (tidak terbalik) bertujuan untuk mendapatkan kekerasan yang maksimal dan merata terutama pada bagian *shaft*.

4.5.2 Perbandingan Hasil Penelitian Terdahulu

Bayu Adie Septianto, dan Yuli Setiyorini (2013), dengan penelitiannya terhadap material Baja AISI 1340 dengan judul penelitian “Pengaruh Media Pendingin pada *Heat Treatment* Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik *Friction Wedge* AISI 1340”. Hasil dari penelitian yang dilakukan :

Yopi Handoyo,” *Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja Jis Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis “ Jurnal Imiah Teknik Mesin, Vol. 3, No.2 Agustus 2015 Universitas Islam 45 Bekasi, <http://ejournal.unismabekasi.ac.id/>*

Pada penelitian ini variasi yang digunakan adalah media pendingin air, oli SAE 20W, PVA 20% dan pendinginan udara pada temperatur austenitisasi 840°C dan waktu tahan 20 menit. Kekerasan yang dihasilkan oleh media pendingin air adalah 556,6 BHN, sedangkan *quench* oli dan polimer 461,8 BHN dan 416 BHN. Pada pendinginan udara dihasilkan kekerasan dibawah 300 BHN. Perbedaan media pendingin berpengaruh terhadap struktur mikro yang terbentuk. Pada pendinginan dengan media air dan oli diperoleh struktur *martensite* dengan bentuk kristal BCT. Sedangkan pada pendinginan udara terbentuk struktur *ferrit* dan *perlit* dengan bentuk kristal BCC. Selain berpengaruh pada sifat mekanik dan struktur mikronya, variasi media pendingin juga memberikan efek terhadap sifat termalnya dan berpengaruh terhadap *elongation* pada temperatur maksimum kerja. Dari hasil uji TMA, performa paling baik pada temperatur 300°C dihasilkan pada pendinginan *quench* oli SAE 20W, dengan pertambahan panjang sebesar 0,65%.

Dari hasil penelitian diatas bahwa ada kesamaan dengan penelitian yang penulis lakukan, antara lain:

Spesimen hasil hardening pada Spesimen 2 (*Quenching* oli) memiliki kekerasan bagian atas 35,3 HRC dan bagian bawah 31,6 HRC. Pada Spesimen 3 (*Quenching* air) memiliki sifat pendinginan yang lebih cepat sehingga kekerasannya lebih tinggi, yaitu bagian atas 43,5 HRC dan bagian bawah 37,5 HRC. Sedangkan struktur mikro keduanya sama yaitu *martensite* dan *bainite*. Spesimen hasil *tempering* pada Spesimen 4 (*quenching* oli dan *tempering* air) paling mendekati standar kelayakan kekerasan yaitu 24 ± 4 HRC yaitu bagian atas 26,8 HRC dan bagian bawah 23,3 HRC, sedangkan pada spesimen 5 (*quenching* air dan *tempering* air) nilai kekerasannya lebih tinggi dan berada pada batas maksimal standar kekerasan yaitu bagian atas 27,8 HRC dan bagian bawah 26,6 HRC.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pada Spesimen 2 (*Quenching* oli) memiliki kekerasan bagian atas 35,3 HRC dan bagian bawah 31,6 HRC. Pada Spesimen 3 (*Quenching* air) memiliki sifat pendinginan yang lebih cepat sehingga kekerasannya naik, yaitu bagian atas 43,5 HRC dan bagian bawah 37,5 HRC. Sedangkan struktur mikro keduanya sama yaitu *martensite* dan *bainite*.
2. Pada Spesimen 4 (*Quenching* oli dan *Tempering* air) paling mendekati standar kekerasan 24 ± 4 HRC yaitu pada bagian atas 26,8 HRC dan bagian bawah 23,3 HRC, sedangkan pada spesimen 5 (*Quenching* air dan *Tempering* air) nilai kekerasannya lebih tinggi dan berada pada batas maksimal standar kekerasan yaitu bagian atas 27,8 HRC dan bagian bawah 26,6 HRC, sedangkan struktur mikro keduanya sama yaitu *bainite* dan *martensite*.
3. Pengaruh *Tempering* pada temperatur 560°C pada spesimen 4 dan 5 adalah penurunan nilai kekerasan dan menghasilkan struktur *bainite* dan *martensite* (*martensite temper*) yang lebih halus dibandingkan dengan spesimen sebelum *Tempering* (spesimen 2 dan 3).

5.2 Saran

1. Saat proses *quenching*, pendinginan spesimen dicelupkan dalam bak oli/air harus secara tegak lurus (tidak terbalik) mencegah kekerasan yang merata dikarenakan ujung spesimen *crankshaft* yang melancip.
2. Kekerasan spesimen disesuaikan dengan kemampuan alat uji kekerasan, saat pemotongan spesimen pastikan memakai cairan pendingin (*coolant*), saat poles spesimen harus searah putaran mesin agar tidak merusak spesimen sebelum dilakukan pengujian material.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambah variasi suhu dan waktu tahan proses perlakuan panas sehingga dapat diperoleh hasil yang optimal untuk meningkatkan sifat mekanis dan struktur mikro pada baja.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan metode *heat treatment* yang sama oleh penulis namun pengujian nya ditambah dengan pengujian kuat tarik dan pengujian *impact* (ketangguhan) dan yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Septianto, Bayu Adie & Yuli Setiyorini. *Pengaruh Media Pendingin pada Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Friction Wedge AISI 1340*. Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. 2013.
- Djafri, Sriati. *Metallurgi Mekanik, Terjemahan dari Mechanical Metallurgy*. Erlangga, Jakarta. 1995.
- Japanesse Standard Association, JIS HANDBOOK, *Ferrous Materials and Metallurgy*, Japan, 1988.
- Soejdono. *Pengetahuan Logam 1*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta. 1978.
- <http://www.media.pendingin.quenching.co.id>
- <http://www.alat.pengujian.struktur.mikro.co.id>